

# NONEL와 ANFO의 長孔發破

On the long holes blasting with NONEL Firing and ANFO Agent

小池弘昭\* 外 2人  
H.S Koichi

## 1. はじめに

北陸新幹線高崎・長野間は、上越新幹線高崎駅より分岐して、軽井沢・佐久・上田を経由して長野駅に至る延長約127km（長野駅～車両基地を含む）の路線である。

高崎・長野間の完成により、東京から長野までの所要時間は約1時間半となり、現行よりも1時間以上短縮される。

さらに、平成10年2月に開幕する冬季オリンピック長野大会に訪れる人達の貴重な足が確保されることにもなり、早期完成への期待も大きい。

五里ヶ峯トンネルは約15.2kmと高崎・長野間ではもっとも長いトンネルである。上田工区、坂城工区、戸倉工区、屋代工区の4工区に分けて工事を実施している。そのうちの上田工区は一番起点方に位置し、上田市、坂城町にまたがる延長3,010mの掘削を予定している。

上田工区の地質は、安定した石英質緑色凝灰岩、石英安山岩を主体とした硬岩質の地山である。当工区では早期完成を目指し鋭意施工中であるが、地山の安定した区間において、『発破エキスパートシステム』を活用した『発破パターン自動マーキングシステム』および、NONEL雷管とANFO爆薬の自動装填による1発破進行長4mの長孔発破システムを採用して急速施工を実施している。ここでは、その概要について報告するものである（図-1）。

## 2. 地形および地質概要

北陸新幹線が計画されている長野県上田市から坂城町、戸倉町、更埴市にかけては狭い平地部を千曲川が流れ、両側が急峻な地形となっている。

千曲川の東側は、第三紀中新世から第四紀にわたる堆積岩と火山岩類が分布するが、大部分は河川西側より古いグリーンタフが卓越し、尾根状を呈している。

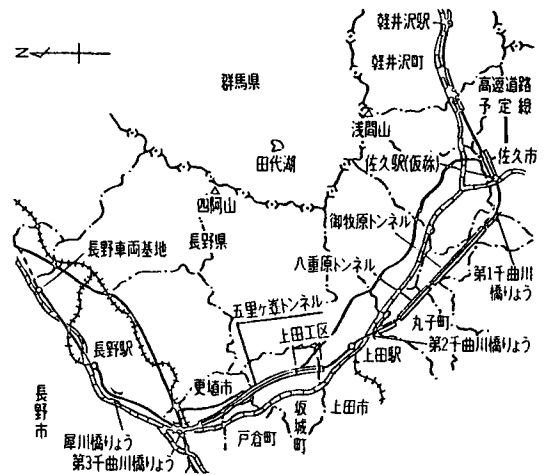


図-1 路線図

最北端の鏡台山から南に鳩ヶ峰、大峯山、太郎山を重ねた山系は千曲川にはほぼ平行し、岩鼻に至る山系が東西に走り、上田盆地の北縁を画している。

本地域の地質はフォッサマグナ地域に属し、新第三紀中新世以降の堆積岩の頁岩、砂岩、礫岩、凝灰岩および火山岩の流紋岩、安山岩、玢岩、石英閃緑岩などの貫入岩類から構成され、グリーンタフ地域に共通した変質作用を受けている。当工区の地質は、別所層の黒色頁岩、内村層の石英安山岩質緑色凝灰岩から構成され、石英安山岩が貫入している。地山等級Ⅲ～Ⅳに相当し、一軸圧縮強度は700～2,000kgf/cm<sup>2</sup>である（図-2）。

## 3. 施工概要

坑口は上田市の市街地に近接した高台にあり、坑口方向には住宅地、小学校などがある。そのため、坑口より70mまでは騒音・振動および地質の関係から機械掘削と

\* 日本鐵道建設公團北陸新幹線建設局上田鐵道建設所副所長

한국건설기술연구원 지질조사팀장 김성환

し、坑口に防音扉2枚、防音シェルタなどの環境対策を実施してから発破工法に切り替えた(写真-1)。

掘削方法は部分的に遭遇する破碎層に対しても切羽の安定が保てるマイクロベンチカット工法とし、発破によ

#### 4. 発破計画

##### 4-1 長孔発破工法の基本技術

長孔発破工法で重要な役割を果たす心抜き工法は、Vカット工法とパラレルカット工法に大別されるが、次の

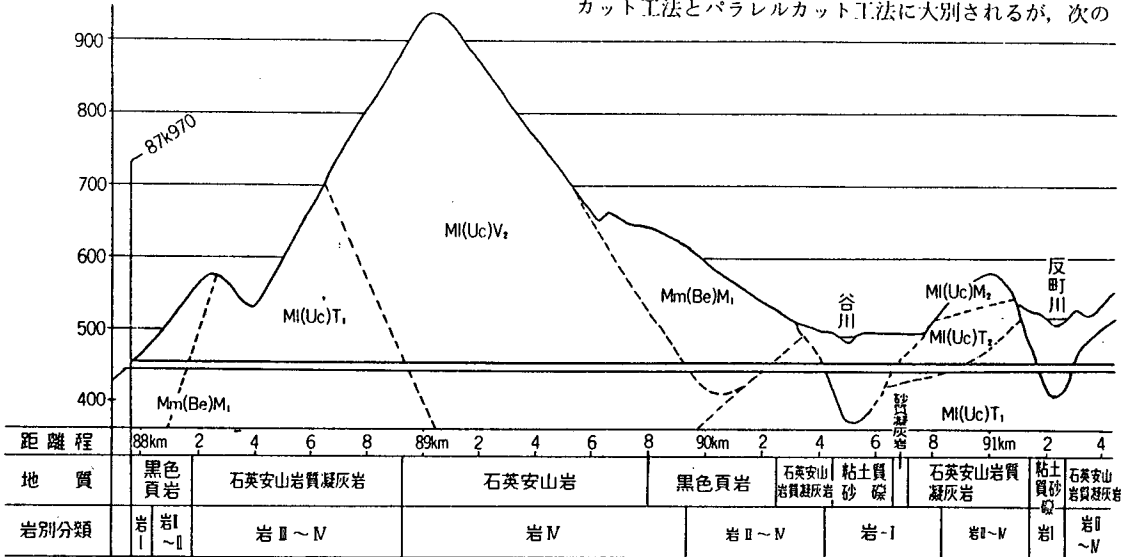


図-2 地質縦断面

表-1 使用機械

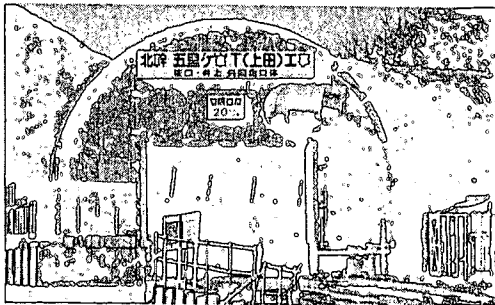


写真-1 防音扉・防音シェルタによる騒音・振動対策

る騒音・振動を少なくするために心抜き工法をラージホール2個のパラレルカットとした1発破進行長4mの長孔発破工法を採用した。また、長孔発破においては高い削孔精度が求められるため、削孔機械は3ブーム・2バスケットのドリルジャンボを採用した。ANFO爆薬の自動装填は、ANFOチャージャーを使用して装填した。

ずり出しは4.2m<sup>3</sup>サイドダンプホイールローダーと2台のトラックコンテナ車と24桁のコンテナ(18.5m<sup>3</sup>)の組み合わせにより、ずりを切羽付近に仮置きし、切羽の早期解放を図るとともに、切羽作業に影響を与えないで安全に坑外に搬出するトラックコンテナ方式を採用した。

長孔発破工法では、削孔配置に精度が要求されることから発破パターン自動マーキングシステムを採用した。

施工順序図、使用機械を図-3、表-1に示す。

名称	仕様	数量	用途
3ブーム油圧ジャンボ	150kg級	1台	掘削
油圧ブレーカ	0.7m <sup>3</sup> 級	1 "	掘削
サイドダンプホイールローダー	4.2m <sup>3</sup>	1 "	ずり処理
トラックコンテナ	MIWA-KIRUNA TRUCK K-300COMBI	2 "	ずり処理
ずり専用コンテナ	18.5m <sup>3</sup>	24 "	ずり処理
バックホーショベル	0.7m <sup>3</sup> 級	1 "	ずり処理
コンクリート吹付けロボット	合体型	1 "	吹付けコンクリート
トラックミキサー	4.5m <sup>3</sup>	2 "	吹付けコンクリート
集塵機	500m <sup>3</sup> /min	1 "	粉塵処理
コントラファンφ1600mm	2000m <sup>3</sup> /分	1 "	坑内換気
コントラファンφ1200mm	1500m <sup>3</sup> /分	1 "	坑内換気
換気架台		1 "	坑内換気
シート張架台	l=4.5m	1 "	覆工
スチールフォーム	l=12m	1 "	覆工
コンクリートポンプ車	51.4m <sup>3</sup> /hr	1 "	覆工

ような特色を有するパラレルカット工法を採用した。

(1) 削孔長と同じ長さの進行が可能である。

(2) 1発破進行長を変更する場合でも、削孔パターンを変更する必要がない。

(3) 平行削孔であるため、ずり飛散が少ない。

しかし、パラレルカット工法による長孔発破には、

- ① 過装薬による焼結現象が起きる。
- ② 最初の自由面が得られるまで、装薬孔に使用する雷

#### 4-2 NONEL雷管とANFO爆薬の自動装填

長孔発破技術の基本になっているNONEL雷管とANFO爆薬の自動装填方法について以下述べる。

##### (1) NONEL雷管の特徴

NONEL雷管は導火管付き雷管として平成4年10月の大業類取締法施行規則の改正とともにない、2級火薬車で

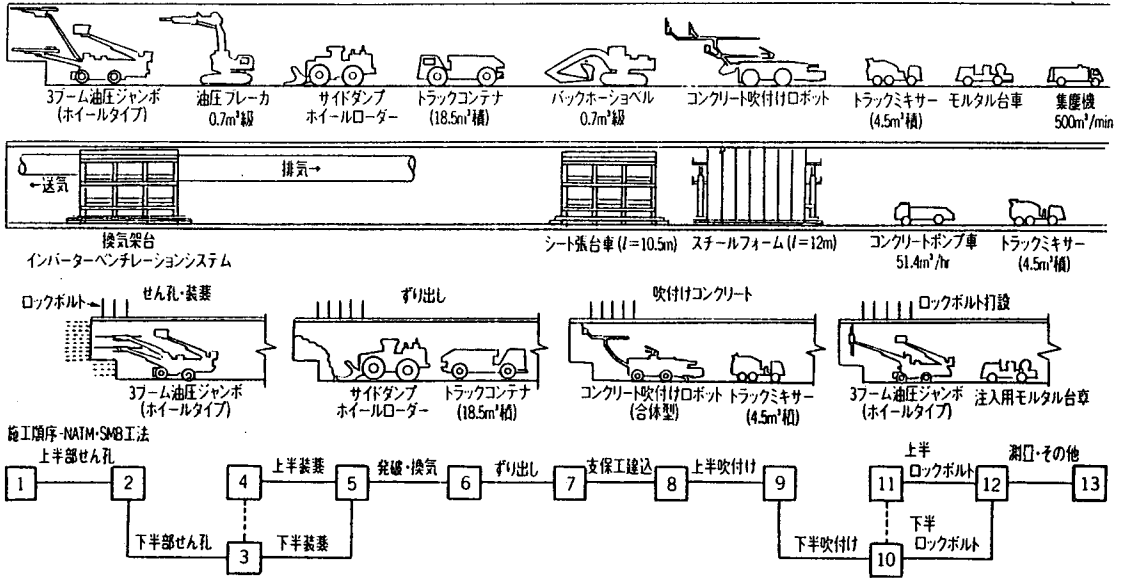


図-3 施工順序図

管は1孔づつ起爆する必要がある(その秒時差は、孔尻の岩石が発破により切羽まで噴出される時間が必要であるため、全断面を効率的に爆破するには従来のDS、MS電気雷管では断数が不足する)。

③ 高度の削孔精度が必要である(とくに、空孔と装薬孔、および各装薬孔の平行性が発破の効率を左右する)といった技術的課題があり、①に対しては、一般的に爆速の遅い爆薬を用いるか、装薬長を長くするために導爆線やクッション材を用いる方法があるが、ここでは低爆薬のANFO爆薬を採用した。

②に対しては、起爆した岩石は40~60m/sの速度で移動することがわかっている。したがって、掘削長4mの心抜きを行うためには1孔づつ60~100m/sの秒時差が必要であり、各段の秒時差が100m/s以上あり、0~60段までであるNONEL雷管を使用した(表-2)。

③に対しては、切羽面にレーザー光線により削孔パターンを照射する発破パターン自動マーキングシステムの採用と平行削孔機能が装備された3ブームドリルジャンボを採用した(図-4)。

貯蔵できるようになった。

NONELチューブはチューブの中に爆薬が塗布しており、ある一定以上の衝撃にのみ反応し、秒速2,000mで衝撃波が伝播し、この衝撃波は雷管を起爆させるに十分なエネルギーを持っている。反応はチューブ内で押さえられ、爆破効果はなく単に信号伝達機能を果たのみであることから、次のような特徴がある。

- ① 非電気式であるので、静電気、雷、漏洩電流に対して起爆しないので安全である。
- ② NONEL雷管は0~60段まであり、さらに、チューブを接続するコネクタにも秒時差を持たせることにより段数は無限大に拡大する。
- ③ 結線作業の取り扱いは、従来の電気雷管より簡単で

表-2 NONEL雷管 (NONEL GT/T)

段数 (No)	延時 (m/s)	間隔 (m/s)
0	25	—
1~12	100~1,200	100
14, 16, 18, 20	1,400~2,000	200
25, 30, 35, 40, 45	2,500~6,000	500
50, 55, 60		

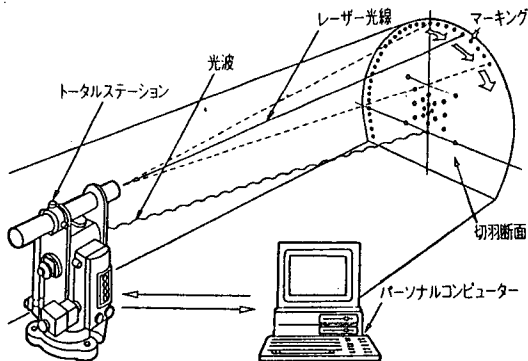


図-4 発破パターン自動マーキングシステム

ある。

④ NONELチューブの引張り力は8kgあり、電気雷管と比べ切羽地山の肌落ちなどによる断線がほとんどない(写真-2, 3)。

(2) NONEL雷管の使用方法

NONEL雷管の使用方法は、通常の電気雷管と同様に関係法規を厳守するとともに、かさばるため大きめの火工品庫と整理棚を設置し貯蔵する必要がある。

NONEL雷管の使用方法は次のようである。

- ① 親ダイの製作は、通常の電気雷管と同様にダイナマイトに差し込む。
- ② 親ダイの装薬孔への挿入は、雷管側を先に行う。雷管についているゴムチューブは、NONELチューブを岩盤との摩擦に対し損傷しないようにしている。
- ③ 装薬終了後、各ブロックごとにNONELチューブを20本以下ごとにビニールテープで2か所束ね、パンチコネクターを結束する(写真-4)。
- ④ 各パンチコネクターからのNONELチューブは、コネクターに接続する。1個のコネクターは、最大8本のNONELチューブを接続することができる。
- ⑤ 最終的に、各コネクターからのNONELチューブは1個のコネクターに接続され、このコネクターからのNONELチューブの端に起爆用の1本の電気雷管を接

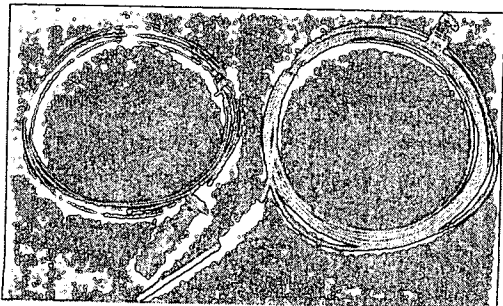


写真-2 NONEL雷管とコネクター

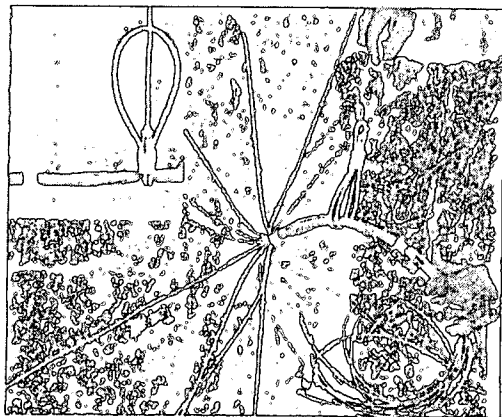


写真-3 パンチコネクター

続する(写真-5)。

電気雷管は通常の方法で発破器に接続し起爆する。

(3) ANFO爆薬の特徴

ANFO爆薬は、硝安と軽油の混合比94:6の顆粒状の爆薬で、世界でもっとも使用されている爆薬であるが、わが国でのトンネルの使用例は少ない。

主な特徴を2号履ダイナマイトと比較して表-3に示す。その長所と短所をまとめると次のようである。

長所

- ① 安全性が高い。
- ② ANFOチャージャーにより自動装薬ができるため、密装薬が可能である。
- ③ 安価である。

短所

- ① 装薬時にANFO爆薬がホース内を高速で移動する際に静電気が発生する。
- ② 後ガスが多い。
- ③ 爆速が小さい。
- ④ 耐水性がない。

これらの短所に対して、次のような対策を行い採用した。

- ① 電氣的に起爆しないNONEL雷管を使用する。
- ② 大風量の換気を行う。ここでは、切羽から200m地点にインバーターベンチレーションを装備した換気架台を置き送排気方式とした。
- ③ 爆速は装薬孔の大きさに関係し、装薬孔が大きくな

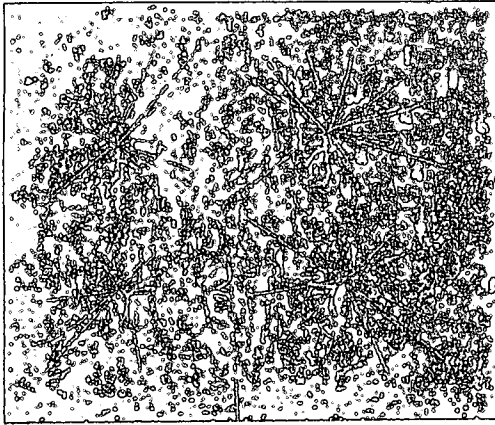


写真-4 NONELチューブの結線状況

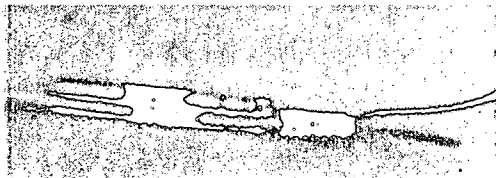


写真-5 電気雷管の接続

表-3 ANFO爆薬と2号楯の比較

		2号楯	ANFO
状態		膠質	果粒
仮比重		1.20~1.25	0.8~0.9
爆速 (m/s)		6,000~6,500	約3,000
砂上殉爆度		4~6	—
(グループ試験) 発火点 (°C)		280~330	—
6号出管による起爆性		完爆	不爆
後ガス	CO (ℓ/kg)	5.0~8.0	6.0~10.0
	NO <sub>x</sub> (ℓ/kg)	1.0~1.9	6.5~10.0
単価		1	0.35

れば爆速も増す。ANFO爆薬は装薬孔に密装填できるため、爆力は2号楯ダイナマイトに匹敵する。

④ 装薬孔に水がある場合は、ダイナマイトを使用する。

#### (4) ANFO爆薬の自動装填

装填は、下向きの装薬孔に対しては流し込みで行うが、水平孔に対しては装填機が必要である(写真-6)。

装填機には容器を加圧し、ANFO爆薬をホースを通して装薬する圧力式と、容器から吸い出し装薬する噴射式、圧力式と噴射式を組み合わせた方式がある。

当工区では圧力式を採用し、遠隔操作が可能なANOLLCC500のANFOチャージャーを使用した。

ANFOチャージャーの使用でとくに注意することは、装填用ホースは耐静電気対策を施してある導電性のものを使用すること、ANFO爆薬がホース内を高速で移動する際に静電気が蓄積される恐れがあるため ANFOチャージャーは装薬作業の間アースしておく必要がある。ANFO爆薬装填方法は次のようである。

- ① 親ダイを装填用ホースで穴尻まで挿入し、エアブローにより削孔水やくり粉を取り除いた後、ホースを引き抜きながらANFO爆薬を装填する。
- ② 所定の位置(ホースの先端から1mの位置に印をつけておく)に来たら再びエアブローをしてホース内のANFO爆薬を出す。

#### 4-3 発破パターン

##### (1) 心抜き部

心抜き工法を長孔発破に適すパラレルカット工法とした。この工法には、装薬孔と同径の空孔を使用するパーカット工法と、空孔を大口径とするラージホールカット工法があるが、進行率が優れているラージホールカット工法を採用した。

##### 1) 空孔の直径と個数

空孔の直径は、1発破進行長を決める重要な要素であり、空孔・削孔長と1発破進行率には図-5のような関

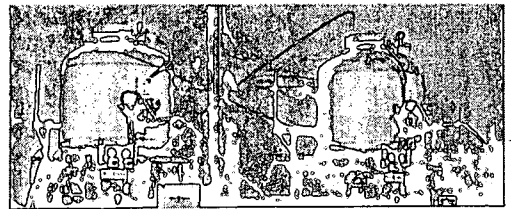


写真-6 ANFO爆薬装填機

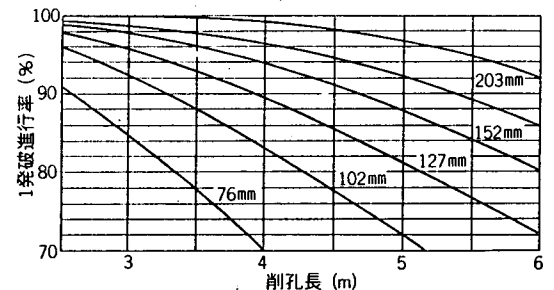


図-5 異なる空孔径における削孔長と1発破進行率の関係

係がある。

空孔が複数の場合は、次式で換算空孔径 $D$ を算出する。

$$D = \phi \sqrt{n} \quad \phi: \text{空孔径}, \quad n: \text{空孔個数}$$

空孔の直径を $\phi 102\text{mm}$ で2個としたので、 $D = 102\sqrt{2} = 144\text{mm}$ となる。 $D = 144\text{mm}$ で削孔長4mの場合1発破進行

率は92%となり、1発破進行長は3.7mとなる。

## 2) 装薬孔の直径

ANFO爆薬は、装薬孔の直径により爆速が変化し、直径が25mm以下では爆速が安定しないのが一般的である。

ここでは、ラージホールビット径やロットサイズから装薬孔の直径は45mmとした。

## 3) 空孔と装薬孔との中心間隔

空孔と装薬孔との中心間隔は、大きすぎれば亀裂が生じ、小さすぎれば装薬孔と連結する危険が高くなる。

中心間隔は、次式より  $a = 200\text{mm}$  と決定した。

$$a \approx 1.5D \quad a: \text{空孔と装薬孔との中心間隔}$$

## (2) 払い部

払い部は、心抜きで得られた空間を中心として、同心円状に順次外側に向かって爆破するように配置するのが従来の方法であったが、心抜きで得られた空間に格子状に順次横方向に爆破した後、冠部を爆破する方法を採用した。この方法は、形状がアーチ状よりも直線で、梁状の方が爆破しようとする地山の抵抗が小さいため、次のような特徴がある。

- ① 抵抗線長を大きく取れ、削孔数を少なくできる。
- ② 削孔の配置が格子状であるため、削孔が容易である。
- ③ 装薬量を少なくすることができる。
- ④ 1段あたりの爆破が、ライン状に配置されないため雷管の使用段数が増加するが、1段あたりの爆薬量が

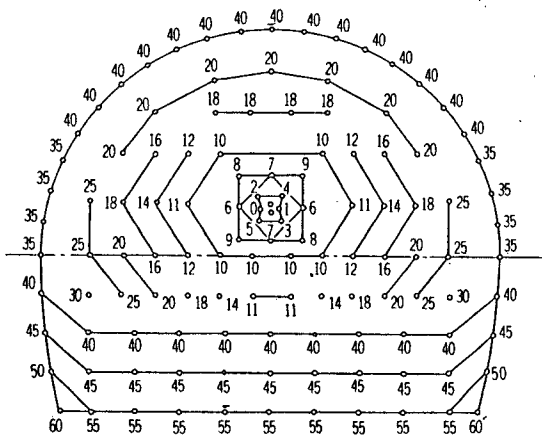


図-6 発破パターン図

少なくなるため騒音・振動対策にも有利になる。

## (3) 周辺孔

周辺岩盤の損傷を少なくし、肌落ち災害に対する安全性の増大と余掘りを減少するために、スムーズプラスティング工法を採用した。

当工法の採用にあたっては、周辺孔間隔:  $E_m$ , 削孔

径:  $d\text{mm}$ , 最小抵抗線長:  $V_m$ , 装薬量:  $W\text{kg}$ , 装薬長:  $L_m$ , 爆薬径:  $d'\text{mm}$ に次のような関係がある。

## ① デカップリング係数

デカップリング係数  $d/d'$  は、1.5~2.5の範囲で採用されている。当工区では、スムーズプラスティング用爆薬(以下SB爆薬と略す)径20mmを使用するのでデカップリング係数  $d/d' = 45/20 = 2.25$ となる。

## ② 削孔間隔Eと最小抵抗線V

削孔間隔Eと最小抵抗線Vとの関係は、 $E/V = 0.7 \sim 0.9$ で、一般に  $E = 0.5 \sim 0.75\text{m}$ ,  $V = 0.7 \sim 0.9\text{m}$ の範囲が望ましいので、当工区では、削孔間隔  $E = 0.7\text{m}$ , 最小抵抗線長  $V = 0.9\text{m}$ とした。 $E/V = 0.7/0.9 = 0.8$ となる。

## (3) 装薬量Wと装薬長L

爆薬は、動的効果の低い爆薬を使用し、削孔内全体に均一な装薬密度とし、できるだけ装薬長を長くすることを基本とするため、SB爆薬( $\phi 20 \times 600\text{mm} \times 200\text{g}$ )を重ならないようにプラスチック製のジョイントを使用して装薬した。

当工区で使用したNONEL雷管とANFO爆薬の自動装填による標準的な発破パターンを図-6に示す。

## 5. 発破パターン自動マーキングシステム

爆破計画は、岩種と爆薬量、孔間隔などの過去の爆破情報を蓄積した『発破エキスパートシステム』を活用した。このシステムは地山条件やトンネル断面に応じた適

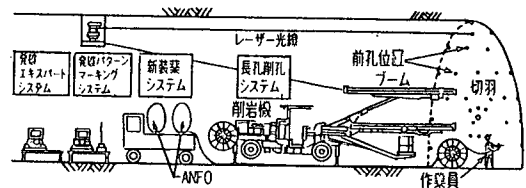


図-7 発破パターン自動マーキングシステム

切な削孔配置と起爆順序を自動計算できる利点がある。

切羽の地質状況に応じ、現場でパソコンに入力することで、現地盤に即応した発破パターンを切羽面に照射することができ、いままでのマーキング方法と比較して削孔精度を飛躍的に高めることができる発破パターン自動マーキングシステムを採用した(図-7)。

## 6. おわりに

わが国のトンネル技術の進歩はめざましく、NATMの標準化、大型施工機械の開発などにより急速施工の採用が多くなっている。急速施工には、①1サイクルの短

縮化, ②1サイクル掘削長の増大化の方法がある.

①については, 各作業の効率化がポイントになり, 作業が繁雑になる. ②については, 1掘削長の増加により作業が単純化され, 切羽に立ち入る時間を短縮できるため安全性が向上するなどの長所がある.

当工区では, 4mの長孔発破を標準に実施し, 地山条件により, とくに湧水が多い場合, 切羽が不安定な場合には掘削長を短くするなど現地盤に応じた発破長とした.

開発したNONEL雷管とANFO爆薬の自動装填による長孔発破システムは, 従来の諸問題を解決して, 4m長孔発破の実績を上げることができ, 昨年9月には新幹線鉄道複線断面において月進260mの日本新記録を樹立することができた.

この長孔発破システムは, 効率的な発破による急速施

工が可能なほか, 次のような特徴がある.

① 装薬作業労力の短縮, 結線作業の単純化, 切羽への立ち入り時間の短縮による肌落ちの減少などで安全性が向上する.

② 発破振動, 騒音などを制御できるため, 周辺環境への対策の向上

③ 1サイクルタイムが8~10時間と長いため, 後方路盤整備や, ドリルジャンボなどの点検, 整備が十分にできるため, 機械の故障率の低下にともなう稼働性の向上. 今後は, 同システムがより安全で効率のよい工法になるように実績を重ねるとともに, 北陸新幹線高崎・長野間の日も早い開通を目指して努力していく所存である. 最後に, このシステムの開発に関わった関係各位に本誌を借りて感謝する次第である.

## 우리學會 任員

會 長	許 垠	
副 會 長	金 鐘 鳳	(주) 한화 전무
	金 熙 昶	(주) 昭元建設 常務
	姜 大 雨	東亞大 工科大學 교수
理 事	全 相 伯	(주) 韓國綜合建築士 事務所
	崔 宣 奎	宣榮構造技術士 事務所
	金 善 權	信一開發(株) 常務
	李 千 植	(주) 한화 計劃 次長
	金 壽 坤	서울市立 産業大學 교수
	安 明 碩	技術士 事務所
監 事	申 甲 徹	自營
總 務	朴 徹 和	專門建設(株) 技術 次長
幹 事	李 榮 一	우리學會
特別會員	(주) 한화(李 淳 鍾 社長)	
	三成火藥(株) (朴 長 庚 社長)	